



EDF R&D

LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE ET ENVIRONNEMENT

SIMULATION MULTIDIMENSIONNELLE ET MODELISATION PHYSIQUE EN HYDRAULIQUE FLUVIALE ET MARITIME

6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

1er octobre 2012

Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D

Chi-tuân PHAM

H-P74-2011-02581-FR	1.0		
----------------------------	------------	--	--

De nombreuses études d'ouvrages côtiers modélisent la marée grâce à des simulations numériques. Jean-Marc Janin et Xavier Blanchard ont réalisé la simulation déterministe de la marée sur un mois afin de calculer des champs de courants sous forme de constantes harmoniques dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique. Ces constantes constituent ainsi une base de données utilisée pour le calcul des conditions aux limites de modèles numériques plus locaux.

A partir de la version 6.1 de Telemac-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :

- proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de Telemac-2D de la manière la plus automatique possible, ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ;
- fournir à la communauté des utilisateurs de Telemac une base de constantes harmoniques de marée gratuite.

Ce document constitue un guide méthodologique pour les études avec modélisation de la marée sur la zone Manche-Proche Atlantique avec Telemac-2D en version 6.1.

Accessibilité : Libre	Mention Spéciale :	Déclassement :
Page de garde	Page I sur IV	©EDF SA 2012



EDF R&D

NATIONAL HYDRAULICS AND ENVIRONMENT LABORATORY
NUMERICAL AND PHYSICAL MODELLING IN RIVER AND COASTAL HYDRODYNAMICS
6 quai Watier - 78401 CHATOU CEDEX, +33 (1) 30 87 79 46

October 1 2012

**Methodology to model tides in the English Channel and near Atlantic Ocean
with version 6.1 of Telemac-2D**

Chi-tuân PHAM

H-P74-2011-02581-FR	1.0		
<p>Many studies of waterworks model tide thanks to numerical modelling. Jean-Marc Janin and Xavier Blanchard performed the deterministic simulation of tides throughout a full lunar cycle in order to calculate current fields in the English Channel and the near Atlantic Ocean. The results are harmonic constants that constitute a database used to calculate boundary conditions for modelling local areas. Since version 6.1 of Telemac-2D, some developments have been integrated in order to deal with modelling of tides for two reasons:</p> <ul style="list-style-type: none">- to propose some subroutines to deal with tides in the most automatic way as possible in the standard version of Telemac-2D. This may facilitate calculations and may also decrease the number of potential errors,- to supply a database of harmonic constants to the community of Telemac users for free. <p>This document is a manual for studies modelling tides in the English Channel or the near Atlantic Ocean with version 6.1 of Telemac-2D.</p>			

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
--------------------	--	--

AVERTISSEMENT / CAUTION

L'accès à ce document, ainsi que son utilisation, sont strictement limités aux personnes expressément habilitées par EDF.

EDF ne pourra être tenu responsable, au titre d'une action en responsabilité contractuelle, en responsabilité délictuelle ou de tout autre action, de tout dommage direct ou indirect, ou de quelque nature qu'il soit, ou de tout préjudice, notamment, de nature financier ou commercial, résultant de l'utilisation d'une quelconque information contenue dans ce document.

Les données et informations contenues dans ce document sont fournies "en l'état" sans aucune garantie expresse ou tacite de quelque nature que ce soit.

Toute modification, reproduction, extraction d'éléments, réutilisation de tout ou partie de ce document sans autorisation préalable écrite d'EDF ainsi que toute diffusion externe à EDF du présent document ou des informations qu'il contient est strictement interdite sous peine de sanctions.

The access to this document and its use are strictly limited to the persons expressly authorized to do so by EDF.

EDF shall not be deemed liable as a consequence of any action, for any direct or indirect damage, including, among others, commercial or financial loss arising from the use of any information contained in this document.

This document and the information contained therein are provided "as are" without any warranty of any kind, either expressed or implied.

Any total or partial modification, reproduction, new use, distribution or extraction of elements of this document or its content, without the express and prior written consent of EDF is strictly forbidden. Failure to comply to the above provisions will expose to sanctions.

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Synthèse

De nombreuses études d'ouvrages côtiers modélisent la marée grâce à des simulations numériques. Pour les besoins d'EDF, on peut citer par exemple :

- les études d'impact thermique des rejets des centrales de production d'énergie sur l'environnement ;
- les études de transport de colmatant de circuits de refroidissement (algues, sable, groseilles de mer...), de nappes d'hydrocarbures ou d'effluents ;
- les études de caractérisation des courants de marée et d'estimation du productible de parcs d'hydroliennes...

Jean-Marc Janin et Xavier Blanchard ont réalisé la simulation déterministe de la marée sur un mois afin de calculer des champs de courants sous forme de constantes harmoniques dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique. Ces constantes constituent ainsi une base de données utilisée pour le calcul de conditions aux limites de modèles numériques plus locaux.

Au LNHE, les utilisateurs de TELEMAC-2D souhaitant modéliser la propagation de la marée ont exploité cette base de données en codant leurs propres traitements de calcul de conditions aux limites de marée dans le sous-programme BORD, éventuellement en reproduisant des sous-programmes Fortran pour TELEMAC-2D déjà utilisés pour des études précédentes. Un certain nombre de modifications étaient nécessaires à chaque simulation suivant le type de marée à simuler, ce qui était susceptible de faire apparaître des erreurs. En outre, la procédure pour générer les constantes harmoniques n'était pas très simple.

À partir de la version 6.1 de TELEMAC-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :

- proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de TELEMAC-2D de la manière la plus automatique possible, ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ;
- fournir à la communauté des utilisateurs de TELEMAC une base de constantes harmoniques de marée gratuite.

La version 6.2 de TELEMAC-3D intégrera les développements qui concernent ces conditions aux limites de marée.

Ce document constitue un guide méthodologique pour les études avec modélisation de la marée sur la zone Manche-Proche Atlantique avec TELEMAC-2D en version 6.1. En outre, il indique des modifications apportées en version 6.2 (notamment pour les mots-clés).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Sommaire / Summary

PAGE DE GARDE	I
FRONT PAGE	II
CIRCUIT DE VALIDATION	III
PRE-DIFFUSION.....	III
LISTE DE DIFFUSION	IV
AVERTISSEMENT / CAUTION	1
SYNTHÈSE	2
SOMMAIRE / SUMMARY	3
1. INTRODUCTION.....	5
2. ÉLÉMENTS DE THEORIE UTILISES POUR MODELISER LA MAREE	5
2.1. LES COURANTS DE MAREE	5
2.2. MODELE DE SIMULATION DES COURANTS DE MAREE EN MANCHE ET PROCHE ATLANTIQUE	6
2.2.1. <i>Simulation d'une marée type.....</i>	8
2.2.2. <i>Simulation d'une marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier.....</i>	9
3. APPLICATION DANS TELEMAC-2D	9
3.1. SOUS-PROGRAMME DE COMMANDE TIDAL_MODEL_T2D	10
3.2. SOUS-PROGRAMME DE GENERATION DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE BORD_TIDAL_BC11	11
3.3. SOUS-PROGRAMME POUR LE CALCUL DES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE BORD_TIDE	12
3.3.1. <i>Marée type avec BORD_TIDE</i>	13
3.3.2. <i>Marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier, avec BORD_TIDE</i>	14
3.4. SOUS-PROGRAMMES DE CALCUL DE FACTEURS NODAUX	14
3.5. SOUS-PROGRAMMES DE CONVERSION DE SYSTEMES GEOGRAPHIQUES	15
4. FICHIERS D'ENTREE DU MODELE NUMERIQUE TELEMAC-2D	15
4.1. FICHER DES PARAMETRES	15
4.2. FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES	17
4.3. FICHER FORTRAN.....	17
4.4. FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE	17
5. MODE OPERATOIRE POUR GENERER LE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MAREE.....	18
6. SIMULATION DE LA MAREE EN VERSION 6.1.....	20
7. QUELQUES ERREURS A NE PAS COMMETTRE	22
8. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	22
9. REFERENCES.....	23
ANNEXE 1 : EXEMPLE DE SOUS-PROGRAMME TIDAL_MODEL_T2D POUR UNE SIMULATION DE LA MAREE AVEC TELEMAC-2D EN VERSION 6.1	24

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
--------------------	--	---

ANNEXE 2 : EXEMPLE DE FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES27

ANNEXE 3 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE28

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

1. Introduction

Jean-Marc Janin et Xavier Blanchard ont réalisé la simulation déterministe de la marée sur un mois afin de calculer des champs de courants sous forme de constantes harmoniques dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique [1]. Ces constantes constituent ainsi une base de données utilisée pour le calcul de conditions aux limites de modèles numériques plus locaux. Le domaine d'étude, qui s'étend au-delà du plateau continental, comporte 29 229 éléments triangulaires avec des tailles de maille décroissant de 40 km au large à 2 km à la côte.

Au LNHE, les utilisateurs de TELEMAC-2D souhaitant modéliser la propagation de la marée sur un domaine d'étude maritime ou à proximité d'un estuaire ont exploité cette base de données en codant leurs propres traitements de calcul de conditions aux limites de marée dans le sous-programme BORD, éventuellement en reproduisant des sous-programmes Fortran pour TELEMAC-2D déjà utilisés pour des études précédentes. Un certain nombre de modifications étaient nécessaires à chaque simulation suivant le type de marée à simuler, ce qui était susceptible de faire apparaître des erreurs. En outre, la procédure pour générer les constantes harmoniques n'était pas très simple.

À partir de la version 6.1 de TELEMAC-2D, des développements ont été intégrés afin de pouvoir traiter la modélisation de la marée pour deux raisons :

- proposer des sous-programmes pour traiter la marée dans la version standard de TELEMAC-2D de la manière la plus automatique possible, ce qui facilite le lancement des simulations et permet de limiter le risque d'erreurs potentielles ;
- fournir à la communauté des utilisateurs de TELEMAC une base de constantes harmoniques de marée gratuite.

Un exemple de cas test est fourni en version 6.1 de TELEMAC-2D. La version 6.2 de TELEMAC-3D intégrera les développements qui concernent ces conditions aux limites de marée.

Dans un premier temps, la théorie utilisée dans cette méthodologie pour modéliser la marée dans TELEMAC-2D est présentée, notamment la prise en compte des quatre ondes M2, S2, N2 et M4, ainsi que la possibilité de représenter des marées types ou des marées à partir d'un jour précis du calendrier (aussi appelées marées « réelles »). Dans une deuxième partie, les développements réalisés dans TELEMAC-2D en version 6.1 pour appliquer ces éléments de théorie de la marée sont présentés et les différents paramètres à renseigner pour une simulation de la marée avec TELEMAC-2D sont décrits. Les sections 4, 5 et 6 décrivent les fichiers d'entrée de calculs TELEMAC-2D de modélisation de la marée ainsi que les deux étapes de génération du fichier de constantes et de calcul des conditions aux limites de marée. Une dernière partie recense quelques erreurs à éviter pour l'utilisation de cette base de données. Ce rapport indique en outre des modifications apportées en version 6.2 (notamment pour les mots-clés).

2. Éléments de théorie utilisés pour modéliser la marée

2.1. Les courants de marée

Les marées océaniques résultent de la superposition d'un ensemble d'ondes élémentaires, appelées aussi composantes harmoniques, répertoriées en fonction de leur période approximative et de leur origine physique.

On distingue quatre types de composantes harmoniques :

- les ondes de longues périodes, mensuelles, semestrielles ou annuelles ;
- les ondes diurnes, dont la période est voisine de vingt-quatre heures ;
- les ondes semi-diurnes, ayant une période d'environ douze heures ;

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

- les ondes supérieures et composées de périodes quart-diurne, tiers-diurne...

Dans la plupart des cas, les ondes diurnes et semi-diurnes sont nettement prédominantes. Elles génèrent la forme générale des marées. Toutefois, dans les zones de faible profondeur, les ondes supérieures et composées peuvent jouer un rôle important.

On parle de marées de type semi-diurne lorsque les composantes diurnes sont négligeables devant les composantes semi-diurnes. Il y a alors deux pleines mers et deux basses mers par jour, d'importances sensiblement égales. Ce type de marée est prépondérant en Atlantique et en Manche.

Les trois principales composantes harmoniques semi-diurnes sont :

- M2 ou onde lunaire principale, de période 44 714 s (12 h 25 min 14 s) ;
- S2 ou onde solaire principale, de période 43 200 s (12 h) ;
- N2 ou onde lunaire elliptique majeure, de période 45 570 s (12 h 39 min 30 s).

Les harmoniques d'ordre plus élevé peuvent résulter d'interactions non linéaires des ondes entre elles. Ainsi, l'interaction de l'onde M2 avec elle-même crée l'onde M4 ainsi qu'une résiduelle constante. L'onde M4, appelée première harmonique de M2, est une onde quart-diurne (de période 22 357 s = 6 h 12 min 37 s).

2.2. Modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique

Jean-Marc Janin et Xavier Blanchard ont réalisé la simulation déterministe de la marée sur un mois afin de calculer des champs de courants sous forme de constantes harmoniques dans l'ensemble de la Manche et du Proche Atlantique pour les quatre ondes M2, S2, N2 et M4 [1]. Ces constantes constituent ainsi une base de données utilisée pour le calcul de conditions aux limites de modèles numériques plus locaux. Le domaine d'étude, qui s'étend au-delà du plateau continental (voir Figure 1), comporte 29 229 éléments triangulaires avec des tailles de maille décroissant de 40 km au large à 2 km à la côte. La précision obtenue est ainsi de l'ordre de 5 à 10 cm [1].

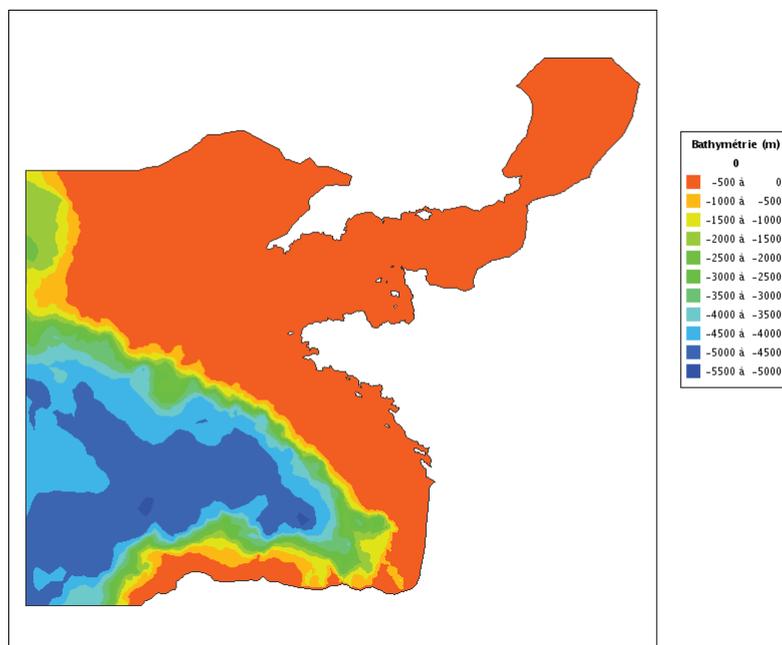


Figure 1 : Emprise du modèle dit de Jean-Marc Janin [1].

La théorie utilisée pour représenter la marée dans TELEMAC-2D en version 6.1 provient très majoritairement de ce travail [1]. Le lecteur est notamment invité à lire ce rapport pour compléter la présente note.

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Deux catégories de marées peuvent être simulées avec TELEMAC-2D en version 6.1 :

- des marées types :
 - o marée de vive-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 110),
 - o marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95),
 - o marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70),
 - o marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45),
 - o marée de morte-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 30) ;
- des marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier.

NB : on appellera à partir de maintenant marée « réelle », une marée à partir d'un jour précis du calendrier.

Pour chaque onde considérée (M2, S2, N2, M4), la hauteur d'eau h et les composantes de vitesse horizontale U et V sont calculées de la manière suivante :

$$F = \sum_{\substack{i=M2, S2, \\ N2, M4}} F_i, \quad (1)$$

avec :

$$F_i = A_{F_i} \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i}\right), \quad (2)$$

pour une marée type,

$$F_i = f_i(t) A_{F_i} \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i} + u_i^0 + v_i(t)\right), \quad (3)$$

pour une marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier,

où la grandeur F désigne la hauteur d'eau h ou une des composantes de vitesse horizontale U ou V , i désigne l'onde considérée (M2, S2, N2 ou M4), T_i représente la période de l'onde, A_{F_i} désigne l'amplitude de la hauteur ou d'une des composantes de vitesse horizontale de l'onde (donnée dans le fichier des constantes harmoniques dans TELEMAC-2D), sa phase φ_{F_i} , $f_i(t)$ et $v_i(t)$ désignent les facteurs nodaux et u_i^0 désigne la phase à l'origine des temps pour la simulation (cf. 2.2.2) pour une marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier. Pour une marée « réelle », la phase citée ci-dessus est directement la phase de l'onde donnée dans le fichier des constantes harmoniques dans TELEMAC-2D. Pour une marée type, la phase est obtenue en sommant la phase donnée dans le fichier des constantes harmoniques et le déphasage donné dans le Tableau 2.

Le Tableau 1 rappelle les périodes associées aux ondes M2, S2, N2 et M4.

	M2	S2	N2	M4
Période T (s)	44 714 s	43 200 s	45 570 s	22 357 s
Période T (h min s)	12 h 25 min 14 s	12 h	12 h 39 min 30 s	6 h 12 min 37 s

Tableau 1 : Période de chacune des ondes du modèle (en secondes ou heures minutes secondes).

Les hauteurs et les vitesses de chaque onde considérée sont donc ensuite sommées pour obtenir les hauteurs d'eau et vitesses à imposer comme conditions aux limites du domaine :

$$- \quad h = \sum_{\substack{i= \\ M2, S2, \\ N2, M4}} h_i - z_f + z_{\text{moy}} \quad (4)$$

$$- \quad U = \sum_{\substack{i= \\ M2, S2, \\ N2, M4}} U_i \quad (5)$$

$$- \quad V = \sum_{\substack{i= \\ M2, S2, \\ N2, M4}} V_i \quad (6)$$

où z_f est la cote du fond et z_{moy} est un niveau pour caler les niveaux de mer (dans le même référentiel, par exemple en m CM – Cartes Marines –, MSL – Mean Sea Level – ou IGN69).

2.2.1. Simulation d'une marée type

TELEMAC-2D en version 6.1 offre la possibilité de simuler des marées types :

- marée de vive-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 110) ;
- marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- marée de morte-eau « exceptionnelle » (coefficient de marée ≈ 30).

Lors de la modélisation des marées de morte-eau et de vive-eau moyennes au niveau des sites en bord de mer, les harmoniques M2, S2 et M4 sont considérées ; pour les marées « exceptionnelles » la contribution de l'onde N2 est ajoutée (cf. Tableau 2). Seules les ondes M2 et M4 sont prises en compte pour une marée moyenne. Certains types de marées nécessitent d'imposer un déphasage de 180° à une ou deux des ondes considérées, comme on peut le voir dans le Tableau 2.

	M2	S2	N2	M4
Marée de Vive Eau "exceptionnelle" (\approx coef. 110)	0	0	0	0
Marée de Vive Eau moyenne (\approx coef. 95)	0	0	onde non considérée	0
Marée moyenne (\approx coef. 70)	0	onde non considérée	onde non considérée	0
Marée de Morte Eau moyenne (\approx coef. 45)	0	180	onde non considérée	0
Marée de Morte Eau "exceptionnelle" (\approx coef. 30)	0	180	180	0

Tableau 2 : Déphasages de chacune des ondes afin de simuler un type de marée donné. Tableau extrait du rapport [1].

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

2.2.2. Simulation d'une marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier

Pour une marée « réelle », chaque onde considérée peut se mettre sous la forme (voir formule (3)) :

$$F_i = f_i(t) A_{F_i} \times \cos\left(2\pi \frac{t}{T_i} - \varphi_{F_i} + u_i^0 + v_i(t)\right), \quad (7)$$

avec $f_i(t)$ et $v_i(t)$ qui désignent les facteurs nodaux et u_i^0 désigne la phase à l'origine des temps pour la simulation. Ces facteurs nodaux sont à prendre en compte pour corriger les variations lentes induites par l'inclinaison de l'orbite de la Lune sur l'équateur [2]. Pour des ondes solaires, comme S2, il n'y a pas de correction ($f_i(t) = 1$ et $v_i(t) = u_i^0 = 0$ à chaque instant t). Par contre, pour les ondes lunaires ou les ondes composées avec au moins une onde lunaire, ces facteurs sont à calculer. Les formules utilisées ici sont celles de Pugh [3].

Si T désigne le temps en siècles juliens, avec pour origine minuit au méridien de Greenwich au 1^{er} janvier 1900, il faut calculer quelques paramètres (exprimés ici en degrés) :

- la longitude moyenne de la lune $s = 277,02 + 481\,267,89T + 0,001\,1T^2$;
- la longitude moyenne du soleil $h = 280,19 + 36\,000,77T + 0,000\,3T^2$;
- la longitude du périégée lunaire $p = 334,39 + 4\,069,04T - 0,010\,3T^2$;
- la longitude du nœud ascendant lunaire $N = 259,16 - 1\,934,14T + 0,002\,1T^2$.

Les facteurs nodaux valent ainsi (les termes u_i^0 et $v_i(t)$ sont exprimés ici en degrés) :

$$u_{M2}^0 = u_{N2}^0 = -2,1\sin(N) \quad (8)$$

$$u_{M4}^0 = 2u_{M2}^0 = -4,2\sin(N) \quad (9)$$

$$v_{M2}(t) = -2s + 2h \quad (10)$$

$$v_{N2}(t) = -3s + 2h + p \quad (11)$$

$$v_{M4}(t) = 2v_{M2}(t) = -4s + 4h \quad (12)$$

$$f_{M2}(t) = f_{N2}(t) = 1 - 0,037\cos(N) \quad (13)$$

$$f_{M4}(t) = (f_{M2}(t))^2 = (1 - 0,037\cos(N))^2 \quad (14)$$

Les formules sur u_i^0 et $f_i(t)$ diffèrent légèrement de celles proposées par Schureman [4]. Pour l'utilisation de la base de données dite de Jean-Marc Janin, ce sont néanmoins les formules de Pugh qui ont été retenues. Pour plus de renseignements sur ce sujet, on pourra se reporter à [3] ou [4].

On peut trouver des valeurs des facteurs $f_i(t)$ tabulées (cf. Tableau 11 de [3] ou Tableau 14 en annexe de [4]) au jour correspondant au milieu de l'année. Avant d'avoir des moyens de calcul assez performants, ces facteurs nodaux $f_i(t)$ pouvaient être considérés comme constants sur toute une année. Ceci est en particulier possible en figeant le paramètre N à la même valeur tout au long de l'année.

3. Application dans TELEMAC-2D

Comme il est décrit plus loin dans les sections 5 et 6, la méthodologie proposée dans le présent rapport comporte deux phases :

- la génération du fichier de constantes harmoniques de marée ;
- le calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime pour les composantes horizontales de vitesse et/ou pour la hauteur d'eau, variables en temps et en espace.

Afin de pouvoir traiter les éléments de théorie décrits dans la section 2, sept sous-programmes ont été intégrés à la version 6.1 :

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

- un sous-programme de commande TIDAL_MODEL_T2D ;
- deux sous-programmes principaux (génération des constantes harmoniques et calcul des conditions aux limites aux nœuds de frontière maritime) BORD_TIDAL_BC et BORD_TIDE ;
- deux sous-programmes de calcul de facteurs nodaux NODALUPV_PUGH et NODALF_PUGH ;
- deux sous-programmes de conversion de systèmes plans en système géographique longitude/latitude CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC.

Ainsi, le sous-programme de commande TIDAL_MODE appelle (éventuellement) celui de génération du fichier de constantes harmoniques (BORD_TIDAL_BC) et celui de calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime (BORD_TIDE). Les deux sous-programmes NODALUPV_PUGH et NODALF_PUGH sont appelés pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, à l'intérieur du sous-programme BORD_TIDE. Les deux sous-programmes de conversion de systèmes géographiques CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC sont appelés par le sous-programme BORD_TIDAL_BC afin de pouvoir traiter de modèles numériques construits dans des systèmes de coordonnées variés. Plus de détails sur ces sous-programmes sont donnés dans le reste de cette section.

3.1. Sous-programme de commande TIDAL_MODEL_T2D

Selon que le mot-clé OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE est activé ou non (par un entier compris entre 1 et 7), le sous-programme BORD appelle le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D. Par défaut, ce mot-clé est mis à 0 (pas de prise en compte de la marée par la méthodologie décrite dans cette note).

Ce sous-programme contient les paramètres liés à la marée à renseigner pour générer le fichier de constantes harmoniques et/ou calculer les conditions aux limites des nœuds de frontière maritime. Ces paramètres sont ceux qui n'existent pas en mot-clé du dictionnaire de TELEMAR-2D de la version 6.1 ; à partir de la version 6.2, certains de ces paramètres deviennent des mots-clés (cf. en particulier la remarque à la fin de cette sous-section). Ils sont décrits plus en détails dans les sections 5 et 6, suivant que l'on génère le fichier de constantes harmoniques ou que l'on calcule les conditions aux limites de marée :

- TIDALBCGEN : logique qui permet de choisir si le fichier de constantes harmoniques est généré (= .TRUE.) ou pas (= .FALSE. par exemple si l'on effectue une simulation et que l'on ne génère pas le fichier des constantes harmoniques de marée au préalable) ;
- GEOSYST : entier qui indique le système géographique dans lequel est construit le modèle numérique, pour la génération du fichier de constantes harmoniques de marée ;
- NUMZONE : entier qui indique le numéro de fuseau (pour WGS84 UTM) ou la projection de type Lambert dans lequel/laquelle est construit le modèle numérique (en cohérence avec le système géographique GEOSYST), pour la génération du fichier de constantes harmoniques de marée ;
- CTIDE : réel flottant qui sert de coefficient de calage du marnage (et éventuellement des composantes de vitesse), lors du calcul des conditions aux limites de nœuds de frontière maritime ;
- MSL : réel flottant qui sert de coefficient de calage du niveau de mer, lors du calcul des conditions aux limites de nœuds de frontière maritime ;
- NODALCORR : entier qui indique comment sont calculés les facteurs nodaux $f_i(t)$ pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier ;
- ICALHW : entier qui donne le numéro de nœud de frontière maritime par rapport auquel les ondes sont déphasées pour débiter la simulation aux environs d'une pleine mer, uniquement pour des marées types (aussi appelé nœud de référence

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

pour le déphasage des ondes) ;

- XSHIFT et YSHIFT : réels flottants qui sont les coordonnées du vecteur de translation à appliquer éventuellement en cas de décalage entre le modèle numérique local et le modèle qui sert à interpoler lors de la génération du fichier de constantes harmoniques de marée (voir section 5 et Figure 3).

En outre, c'est ce sous-programme qui appelle (éventuellement suivant la valeur du logique TIDALBCGEN) le sous-programme BORD_TIDAL_BC pour la génération du fichier de constantes harmoniques et le sous-programme BORD_TIDE pour le calcul des conditions aux limites des nœuds de frontière maritime.

L'utilisateur peut imposer une rampe de vitesse en début de simulation pour diminuer la durée de la phase transitoire si les vitesses sont trop grandes pendant cette phase (un exemple de rampe sur 1 800 s = 30 min est commenté en version 6.1). En pratique, ce sont alors les deux composantes de vitesse de la marée qui sont multipliées par cette fonction rampe en début de calcul.

Remarque : les paramètres GEOSYST, NUMZONE, CTIDE, MSL sont des mots-clés du dictionnaire de TELEMAC-2D à partir de la version 6.2 et ne sont alors plus à définir dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D.

3.2. Sous-programme de génération des constantes harmoniques de marée BORD_TIDAL_BC

Le sous-programme BORD_TIDAL_BC lit les deux fichiers de géométrie et de constantes harmoniques de marée du modèle dit de Jean-Marc Janin [1], puis interpole les constantes harmoniques de marée aux nœuds de frontière maritime du modèle numérique local. Cette interpolation est de type éléments finis. Ensuite, ce sous-programme écrit les quelques lignes en tête du fichier de constantes harmoniques de marée qui seront utiles lors de calculs en parallèle. Il s'agit du nombre de frontières maritimes, ainsi que du numéro local des extrémités de ces frontières maritimes (cf. sous-section 4.4 + Annexe 3).

Les paramètres définis dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D du fichier Fortran et utilisés dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC sont (cf. sous-section 3.1 pour plus de descriptions) :

- GEOSYST ;
- NUMZONE ;
- XSHIFT et YSHIFT.

Ces paramètres à modifier éventuellement sont surlignés en cyan dans l'exemple de sous-programme TIDAL_MODEL_T2D inclus en Annexe 1 pour la génération du fichier de constantes harmoniques.

Les coordonnées du modèle numérique local sont transformées d'abord en longitude/latitude (λ/φ) par l'appel aux sous-programmes CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC ou CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC, puis transformées en coordonnées « Mercator TELEMAC » avec la relation :

$$x_M = R.\lambda \quad (15)$$

$$y_M = R.(\log(\tan(\varphi/2+\pi/4))-\log(\tan(48\pi/360+\pi/4))) \quad (16)$$

avec $R = 6\,370$ km le rayon de la Terre, la longitude λ et la latitude φ étant exprimés en radians ici.

Le sous-programme écrit enfin le fichier de constantes harmoniques.

Si le modèle numérique local est tourné par rapport à celui du modèle dit de Jean-Marc Janin (construit en WGS84 Mercator), l'angle BETA dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC peut être ajusté afin de tenir compte de cette rotation. La Figure 2 montre l'emprise du modèle numérique du cas test fourni avec TELEMAC-2D en version 6.1. Dans le système WGS84 longitude/latitude, les deux côtés gauche et droit suivent deux méridiens, alors que le côté supérieur suit un parallèle. Dans la projection Lambert utilisée, on constate une rotation entre les deux directions Nord (de la projection Lambert et du système WGS84) d'un angle BETA. C'est cet angle qu'il faut reporter dans le sous-

programme BORD_TIDAL_BC.

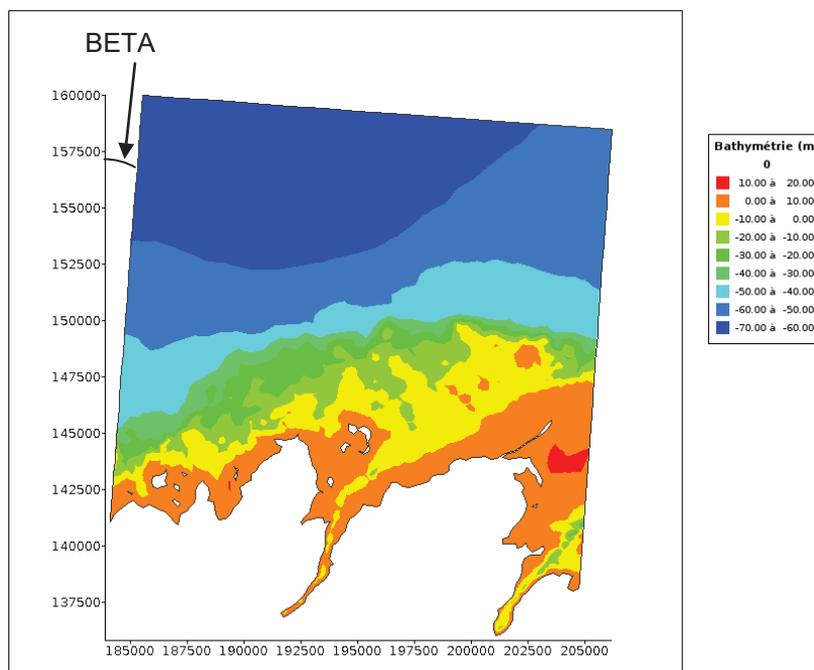


Figure 2 : Exemple de modèle numérique local tourné par rapport à celui du modèle dit de Jean-Marc Janin [1].

En version 6.1, cette phase de génération des constantes harmoniques de marée n'est possible qu'en mode séquentiel (pas de mode parallèle possible en version 6.1). Cependant, la génération du fichier des constantes harmoniques n'est nécessaire au plus qu'une fois pour un même fichier de géométrie et un même fichier des conditions aux limites associés.

Remarque : les paramètres GEOSYST et NUMZONE sont des mots-clés du dictionnaire de TELEMAC-2D à partir de la version 6.2. À partir de la version 6.2, l'angle BETA peut-être directement modifié dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D car il devient un argument d'entrée du sous-programme BORD_TIDAL_BC.

3.3. Sous-programme pour le calcul des conditions aux limites de marée BORD_TIDE

Le sous-programme BORD_TIDE lit le fichier des constantes harmoniques de marée pour chaque nœud de la frontière maritime et pour chacune des ondes de marée – M2, S2, N2 et M4 – (ainsi que des informations utiles pour des calculs en mode parallèle – le nombre de frontières maritimes et les numéros locaux des extrémités de ces frontières maritimes). Ensuite, à chaque pas de temps, le sous-programme BORD_TIDE permet de calculer les conditions aux limites dues aux ondes de marée (hauteur d'eau et/ou composantes horizontales de vitesse, variables en temps) à imposer en chaque nœud de frontière maritime du domaine d'étude, conformément à ce qui est décrit dans la sous-section 2.2. Ce sous-programme fonctionne en modes séquentiel et parallèle.

Le mot-clé OPTION POUR LES CONDITIONS LIMITES DE MAREE (compris entre 1 et 7) permet de déterminer les traitements spécifiques pour le calcul des conditions aux limites de marée de la simulation d'une marée type ou d'une marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier (en particulier, les ondes considérées parmi les quatre disponibles et la phase à prendre en compte).

Des paramètres de calage et de déphasage des ondes sont définis dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D (cf. sous-section 3.1) du fichier Fortran et utilisés dans le sous-programme BORD_TIDE (plus de détails seront donnés dans la section 6) :

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

- CTIDE ;
- MSL ;
- ICALHW (uniquement pour la simulation de marées types),
- NODALCORR.

Ces paramètres à modifier éventuellement sont surlignés en **jaune** dans l'exemple de sous-programme TIDAL_MODEL_T2D inclus en Annexe 1 pour le calcul des conditions aux limites de marée.

Le coefficient CTIDE permet d'ajuster l'amplitude du marnage ainsi que l'amplitude de la vitesse des ondes de marée, imposées aux frontières du modèle. La vitesse de l'onde de marée étant, en première approximation, proportionnelle à la racine carrée de sa hauteur, le coefficient de calage pour les vitesses est pris égal à la racine du coefficient CTIDE par défaut, mais il peut être modifié.

Le coefficient MSL correspond à un niveau moyen de la mer et peut aussi être fixé par l'utilisateur de manière à caler au mieux les niveaux de la mer.

Le paramètre spécifique ICALHW, qui donne l'indice de nœud de frontière maritime par rapport auquel toutes les ondes sont déphasées pour tous les nœuds de frontière maritime, est décrit dans la sous-sous-section 3.3.1.

Le paramètre NODALCORR permet de choisir la manière de calculer les facteurs nodaux $f_i(t)$:

- valeurs calculées à la date de l'origine des temps puis gardée constante durant toute la simulation ;
- valeurs calculées au milieu de l'année indiquée dans la date de l'origine puis gardée constante durant toute la simulation ;
- valeurs calculées à chaque pas de temps (cette possibilité n'est pas disponible en version 6.1 mais l'est à partir de la version 6.2).

Avec ces deux coefficients de calage, les relations (4) à (6) deviennent en pratique :

$$h = \text{CTIDE} \sum_{\substack{i= \\ \text{M2, S2,} \\ \text{N2, M4}}} h_i - z_f + \text{MSL} \quad (17)$$

$$U = \sqrt{\text{CTIDE}} \sum_{\substack{i= \\ \text{M2, S2,} \\ \text{N2, M4}}} U_i \quad (18)$$

$$V = \sqrt{\text{CTIDE}} \sum_{\substack{i= \\ \text{M2, S2,} \\ \text{N2, M4}}} V_i \quad (19)$$

Ce sont ces expressions qui ont été codées dans BORD_TIDE.

Remarque : les paramètres CTIDE et MSL sont des mots-clés du dictionnaire de TELEMAR-2D à partir de la version 6.2 et ne sont alors plus à définir dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D. En outre, un autre paramètre de calage (CTIDEV) pour les vitesses est nouvellement défini comme mot-clé à partir de la version 6.2, ce qui permet de le choisir différent de la racine carrée de CTIDE éventuellement (c'est néanmoins la valeur conservée comme valeur par défaut).

3.3.1. Marée type avec BORD_TIDE

Pour la simulation d'une marée type, toutes les ondes sont mises à peu près en phase à l'instant initial $t = 0$ au démarrage du calcul (pour toutes les variables hauteur d'eau h et composantes horizontales de vitesse U et V). Pour cela, un indice de nœud est fixé par le paramètre ICALHW (généralement vers le milieu de la (ou des) frontière(s) maritime(s) du modèle) et on soustrait au déphasage de

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

chaque onde la phase de la composante harmonique de la hauteur en ce nœud (que l'on peut appeler nœud ou point de référence). Par défaut, si la valeur ICALHW (pour Indice de Calage de la Pleine Mer, High Water en anglais) est laissée à 0, le code détermine automatiquement un indice de nœud situé à la moitié de la numérotation des nœuds de frontière maritime. L'utilisateur peut donc éventuellement modifier ce choix de nœud de référence par défaut si besoin. Ce paramètre ICALHW n'est utilisé que pour la simulation de marées types.

Pour une marée type, la phase φ_i a été codée en version 6.1 comme étant la somme de la phase donnée par le fichier de constantes harmoniques de TELEMAC-2D et d'un déphasage suivant le type de marée simulé (cf. 2.2.1). Dans ce cas-là, la simulation démarre autour d'une pleine mer à $t = 0$. Si l'on ne souhaite pas commencer le calcul durant la pleine mer à $t = 0$, il faut alors ajouter un autre déphasage de l'ensemble des ondes (cf. Tableau 3 ou Tableau 9 de [1]) pour faire coïncider l'instant $t = 0$ avec un autre instant de la marée (par exemple la basse mer, le mi-montant ou le mi-descendant). L'utilisateur est alors invité à modifier le sous-programme BORD_TIDE en conséquence.

	Pleine mer ou marée haute	Mi-montant ou mi-marée descendante	Basse mer ou marée basse	Mi-descendant ou mi-marée montante
phi (°)	0	90	180	270

Tableau 3 : Déphasage de l'ensemble des ondes afin d'imposer la phase de la marée à $t = 0$.

3.3.2. Marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier, avec BORD_TIDE

Le mot-clé DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS et le paramètre NODALCORR défini dans TIDAL_MODEL_T2D sont des arguments uniquement utilisés pour la simulation d'une marée « réelle ». Ils servent pour le calcul des facteurs nodaux déterminés dans les sous-programmes NODALUPV_PUGH et NODALF_PUGH appelés dans BORD_TIDE (cf. sous-section 3.4).

3.4. Sous-programmes de calcul de facteurs nodaux

Les facteurs nodaux pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier, sont calculés à partir des formules de Pugh [3] (cf. sous-sous-section 2.2.2). Elles ont été codées dans le sous-programme NODALUPV_PUGH pour les termes u_i^0 et $v_i(t)$ et dans le sous-programme NODALF_PUGH pour les termes $f_i(t)$.

Les facteurs nodaux $v_i(t)$ et le déphasage à l'origine u_i^0 ne sont calculés qu'une seule fois en début de calcul en fonction de la date renseignée par le mot-clé DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS (voir 4.1).

En fonction du choix fait par l'utilisateur pour le paramètre NODALCORR dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D, les facteurs nodaux $f_i(t)$ sont calculés à l'instant de l'origine des temps de la simulation (choix 1 par défaut) ou au milieu de l'année de l'origine des temps de la simulation (choix 2, cf. sous-section 2.2.2). En version 6.1, les facteurs nodaux $f_i(t)$ sont gardés constants pendant toute la simulation ; il n'est pas possible de recalculer ces facteurs nodaux à chaque pas de temps (choix 0) dans la version 6.1. Néanmoins, sur une courte durée de simulation, ces facteurs ne varient pas trop (la différence relative des corrections reste au pire inférieure à 2,5 % sur une année complète, donc bien moindre sur une période plus courte comme quelques jours).

Remarque : à partir de la version 6.2 de TELEMAC, les facteurs nodaux $f(t)$ peuvent être calculés à chaque pas de temps (choix NODALCORR = 0).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

3.5. Sous-programmes de conversion de systèmes géographiques

Pour utiliser les développements intégrés en version 6.1 de TELEMAC-2D, il est conseillé de construire le modèle numérique dans un des systèmes de coordonnées géographiques suivants (choix à préciser par la variable GEOSYST dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D) :

- système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux) : choix 1 ;
- système WGS84 plan UTM (Nord ou Sud) : choix 2 pour Nord ou 3 pour Sud ;
- système NTF plan Lambert (Lambert 1 Nord, 2 Centre, 2 étendu, 3 Sud, 4 Corse) : choix 4. La projection Lambert 93 n'a pas été implémentée en version 6.1.

Les sous-programmes CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC et CONV_MERCATOR_TO_DEGDEC convertissent les coordonnées de points de systèmes géographiques plans WGS84 UTM ou Lambert, en système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux). Ils utilisent les algorithmes disponibles sur le site de l'IGN [5-7]. Un petit biais a été utilisé dans le sous-programme CONV_LAMBERT_TO_DEGDEC pour le calcul de la latitude lors d'une conversion à partir du système Lambert afin de se recalibrer par rapport au logiciel Circé de l'IGN.

L'utilisateur a la possibilité de définir un système de coordonnées personnel qu'il peut coder dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC (par exemple, conversion dans un repère local et rotation d'un certain angle par commodité, qui est le cas de l'exemple codé dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC pour la valeur GEOSYST = 0).

Remarque : le paramètre GEOSYST est un mot-clé du dictionnaire de TELEMAC-2D à partir de la version 6.2. En outre, à partir de cette dernière version, le système 'Mercator pour TELEMAC' est également disponible.

4. Fichiers d'entrée du modèle numérique TELEMAC-2D

Afin de réaliser une simulation de propagation de la marée sur un domaine d'étude, TELEMAC-2D a besoin d'un certain nombre de fichiers d'entrée, en particulier des fichiers des paramètres, des conditions aux limites, Fortran et des constantes harmoniques (+ éventuellement le fichier de base de données de marée et le fichier du modèle de marée).

4.1. Fichier des paramètres

Dans ce fichier figurent les mots-clés de la simulation. Afin de modéliser la marée sur un domaine, il faut en particulier préciser tout ou partie des mots-clés suivants :

- OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE ;
- FICHIER DES CONSTANTES HARMONIQUES ;
- PROCESSEURS PARALLELES ;
- BASE DE DONNEES DE MAREE (pour la génération du fichier de constantes harmoniques) ;
- FICHIER DU MODELE DE MAREE (pour la génération du fichier de constantes harmoniques) ;
- DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS (pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier).

Par défaut, le mot-clé OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE est mis à 0 (pas de prise en compte de la marée par la méthodologie décrite dans cette note). Pour activer les développements de traitement de la marée, il faut alors indiquer le type de marée simulée par un entier compris entre 1 et 7 : un des cinq choix présentés en sous-sous-section 2.2.1 pour une marée type (2 à 6) ou un des deux choix pour une marée « réelle », c'est-à-dire la simulation de la marée à partir d'un jour précis du calendrier (1 ou 7) :

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

- 1 : marée « réelle » (méthodologie recommandée) ;
- 2 : marée de vive-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 110) ;
- 3 : marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- 4 : marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- 5 : marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- 6 : marée de morte-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 30) ;
- 7 : marée « réelle » (méthodologie d'avant 2010 au LNHE).

Avec le mot-clé `OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE` dans `TELEMAC-2D`, il est nécessaire de bien distinguer le type 7 pour lequel les constantes harmoniques générées sont au format projection de composantes suivant x et y (format rectangulaire qui est celui d'origine de la base de données dite de Jean-Marc Janin [1]) et les autres types pour lesquels le format des constantes harmoniques est (amplitude, phase).

Le fichier des constantes harmoniques doit obligatoirement exister avec le chemin indiqué par le mot-clé `FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES` et éventuellement être vide s'il n'a pas été créé précédemment (avec l'utilisation des scripts Perl, ce fichier est défini comme `READ-WRITE` dans le dictionnaire de `TELEMAC-2D`). Il contient les constantes harmoniques de chaque onde de marée en chaque nœud de frontière maritime (voir descriptif en sous-section 4.4 ou Annexe 3).

Si l'on souhaite effectuer une simulation de la marée avec `TELEMAC-2D` en mode parallèle, il faut indiquer une valeur supérieure ou égale à 2 pour le mot-clé `PROCESSEURS PARALLELES`. Ce n'est que la partie calcul des conditions aux limites de marée qui peut-être réalisée en mode parallèle en version 6.1, une fois le fichier des constantes harmoniques généré et écrit une première fois. Si l'on souhaite seulement générer ce fichier des constantes harmoniques, ou que l'on souhaite générer ce fichier des constantes harmoniques puis dans la continuité réaliser une simulation de la marée avec un même calcul `TELEMAC-2D`, il est uniquement possible de faire un calcul séquentiel (`PROCESSEURS PARALLELES = 0`) en version 6.1 (sinon, un message d'erreur s'affiche). On conseille donc à l'utilisateur de générer le fichier des constantes harmoniques une première fois en séquentiel, puis, une fois ce fichier créé, de réaliser les simulations sans générer ce fichier à nouveau à chaque fois, ce qui permet d'utiliser le mode parallèle.

Les deux mots-clés `FICHER DU MODELE DE MAREE` et `BASE DE DONNEES DE MAREE` sont à préciser si le fichier des constantes harmoniques n'existe pas ou si l'on souhaite générer ce fichier. Le fichier de géométrie sur lequel le modèle local vient interpoler les constantes harmoniques est renseigné par le mot-clé `FICHER DU MODELE DE MAREE` ; c'est un fichier binaire au format Sérafin qui est le fichier de géométrie servant au cas-test de `TELEMAC-2D` dit « Onde M2 ». En chaque nœud de ce fichier de géométrie, les constantes harmoniques de marée du modèle dit de Jean-Marc Janin [1] ont été stockées dans le fichier ASCII correspondant au mot-clé `BASE DE DONNEES DE MAREE`.

Pour la simulation d'une marée « réelle », c'est-à-dire la simulation de la marée à partir d'un jour précis du calendrier, la date de début de simulation est spécifiée par le mot-clé `DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS` (au format année ; mois ; jour, par exemple 2011;10;22 pour le 22 octobre 2011). En version 6.1, la simulation commence à l'heure 0 h GMT : le mot-clé `HEURE DE L'ORIGINE DES TEMPS` n'est pas pris en compte en version 6.1, mais il le sera dans une prochaine version.

Remarque : les paramètres `GEOSYST`, `NUMZONE`, `CTIDE`, `CTIDEV`, `MSL` définis dans le sous-programme `TIDAL_MODEL_T2D` en version 6.1 sont de nouveaux mots-clés du dictionnaire de `TELEMAC-2D` à partir de la version 6.2. En outre, le mot-clé '`BASE DE DONNEES DE MAREE`' devient '`BASE ASCII DE DONNEES DE MAREE`'. Pour utiliser la base de données dite de

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Jean-Marc Janin, il faut indiquer la valeur 1 au nouveau mot-clé 'BASE DE DONNEES DE MAREE' à partir de la version 6.2.

4.2. Fichier des conditions aux limites

Il est important de bien vérifier que la dernière colonne du fichier des conditions aux limites (numéro de nœud frontière) correspond au numéro de la ligne dans le fichier avant partitionnement éventuel. Ceci est indispensable pour le bon fonctionnement d'un calcul en parallèle et interdit l'utilisation particulière du tableau BOUNDARY_COLOUR.

L'Annexe 2 montre un exemple de fichier des conditions aux limites. Afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.1 de TELEMAC-2D, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse U et V libres), 4 6 6 (composantes de vitesse U et V imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse U et V imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites (surlignées en **jaune** dans l'Annexe 2).

4.3. Fichier Fortran

Le fichier Fortran contient tous les sous-programmes modifiés par l'utilisateur. Dans ce type de simulations de marée, il contient généralement le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D en version 6.1 de TELEMAC-2D dans lequel les paramètres liés à la marée sont renseignés.

4.4. Fichier des constantes harmoniques de marée

Le fichier des constantes harmoniques de marée (indiqué par le mot-clé FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES dans le fichier des paramètres) est un fichier de données formaté ASCII. Ce fichier contient les constantes harmoniques pour chaque onde de marée considérée, en chaque nœud de frontière maritime correspondant à un site donné le long des côtes Atlantique / Manche. Il peut être généré par le sous-programme BORD_TIDAL_BC. La lecture de ce fichier est effectuée à l'intérieur du sous-programme BORD_TIDE pour la simulation de la marée. Un exemple de fichier des constantes harmoniques de marée est donné en Annexe 3. En outre, la création de ce fichier des constantes harmoniques de marée est détaillée dans la section 5. Les premières lignes comportent le nombre de frontières sur lesquelles on impose la marée puis les numéros locaux des bornes de ces frontières (une ligne comprenant les indices des bornes pour chaque frontière).

Ensuite, dans le cas du mot-clé OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE compris entre 1 et 6, pour chaque nœud de frontière maritime, il y a un bloc de cinq lignes au format suivant :

$$i \quad Z_f(i)$$

$$A_{HM2}(i) \quad \varphi_{HM2}(i) \quad A_{UM2}(i) \quad \varphi_{UM2}(i) \quad A_{VM2}(i) \quad \varphi_{VM2}(i)$$

$$A_{HS2}(i) \quad \varphi_{HS2}(i) \quad A_{US2}(i) \quad \varphi_{US2}(i) \quad A_{VS2}(i) \quad \varphi_{VS2}(i)$$

$$A_{HN2}(i) \quad \varphi_{HN2}(i) \quad A_{UN2}(i) \quad \varphi_{UN2}(i) \quad A_{VN2}(i) \quad \varphi_{VN2}(i)$$

$$A_{HM4}(i) \quad \varphi_{HM4}(i) \quad A_{UM4}(i) \quad \varphi_{UM4}(i) \quad A_{VM4}(i) \quad \varphi_{VM4}(i)$$

avec :

- en première ligne : i le numéro local du nœud frontière et $Z_f(i)$ la cote du fond (en m CM) interpolée dans le modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (modèle dit de Jean-Marc Janin [1]) ;
- pour les quatre lignes suivantes : les constantes harmoniques (un type d'onde, parmi M2, S2, N2 ou M4, par ligne) avec pour chaque ligne, l'amplitude (A) et la phase (φ) de chaque type de signal (hauteur d'eau H en m ou composante horizontale de vitesse U ou V en m/s).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Dans le cas du mot-clé OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE égal à 7, pour chaque nœud de frontière maritime, il y a un bloc de cinq lignes au format suivant :

i	$Z_f(i)$				
$HFX_{M2}(i)$	$HFY_{M2}(i)$	$UFX_{M2}(i)$	$UFY_{M2}(i)$	$VFX_{M2}(i)$	$VFY_{M2}(i)$
$HFX_{S2}(i)$	$HFY_{S2}(i)$	$UFX_{S2}(i)$	$UFY_{S2}(i)$	$VFX_{S2}(i)$	$VFY_{S2}(i)$
$HFX_{N2}(i)$	$HFY_{N2}(i)$	$UFX_{N2}(i)$	$UFY_{N2}(i)$	$VFX_{N2}(i)$	$VFY_{N2}(i)$
$HFX_{M4}(i)$	$HFY_{M4}(i)$	$UFX_{M4}(i)$	$UFY_{M4}(i)$	$VFX_{M4}(i)$	$VFY_{M4}(i)$

avec :

- en première ligne : i le numéro local du nœud frontière et $Z_f(i)$ la cote du fond (en m CM) interpolée dans le modèle de simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique (modèle dit de Jean-Marc Janin [1]) ;
- pour les quatre lignes suivantes : les constantes harmoniques (un type d'onde, parmi M2, S2, N2 ou M4, par ligne) avec pour chaque ligne, les projections selon x et y (FX et FY) de la composante de chaque type de signal (hauteur d'eau H en m ou composante horizontale de vitesse U ou V en m/s).

5. Mode opératoire pour générer le fichier des constantes harmoniques de marée

Avant d'effectuer des simulations de propagation de la marée dans un domaine, il est tout d'abord nécessaire de générer le fichier des constantes harmoniques de marée. Comme déjà dit en sous-section 4.1, la génération du fichier des constantes harmoniques de marée n'est possible qu'en mode séquentiel en version 6.1 (mot-clé PROCESSEURS PARALLELES = 0).

Le fichier des constantes harmoniques de marée est généré à partir d'un calcul TELEMAR-2D ayant pour données d'entrée les fichiers de géométrie et de conditions aux limites du modèle numérique sur lequel on souhaite modéliser la marée, ainsi que le fichier de géométrie et une base de données de constantes harmoniques associée pour un domaine de plus grande emprise (ici le modèle de la Manche et du proche Atlantique [1], cf. sous-section 4.1 pour les mots-clés employés). Ces dernières données sont interpolées sur les nœuds de frontière maritime. La génération du fichier des constantes harmoniques de marée s'effectue lors d'une courte simulation TELEMAR-2D, qui permet de lire la base de données de constantes harmoniques et d'interpoler ces informations sur les nœuds de la frontière maritime du domaine à modéliser (interpolation de type éléments finis). Le fichier formaté de constantes harmoniques est ainsi créé (il se peut que la simulation finisse par une erreur, ce qui n'est pas rédhibitoire, l'important est qu'elle génère ce fichier formaté).

Comme dit en sous-section 4.2, afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.1 de TELEMAR-2D, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse U et V libres), 4 6 6 (composantes de vitesse U et V imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse U et V imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites.

Quelques paramètres à initialiser dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D sont à renseigner lors de la génération du fichier des constantes harmoniques aux nœuds de frontière maritime (ils sont surlignés en **cyan**, ou **vert** dans le cas de la variable TIDALBCGEN en Annexe 1) :

- TIDALBCGEN (logique mis alors à .TRUE. – vrai) ;
- GEOSYST ;
- NUMZONE ;

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

- XSHIFT et YSHIFT éventuellement en cas de décalage entre le modèle local et le modèle qui sert à interpoler.

Le système de coordonnées géographiques dans lequel le modèle numérique a été construit doit être précisé par la variable GEOSYST dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D. Les cas actuellement prévus sont :

- système WGS84 géographique (longitude/latitude en degrés décimaux) : choix 1 ;
- système WGS84 plan UTM (Nord ou Sud) : choix 2 pour Nord ou 3 pour Sud ;
- système NTF plan Lambert : choix 4.

L'utilisateur a la possibilité de définir un système de coordonnées personnel qu'il peut coder dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC (par exemple, conversion dans un repère local et rotation d'un certain angle par commodité, qui est le cas de l'exemple codé dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC pour la valeur GEOSYST = 0). Il est néanmoins conseillé de conserver le modèle numérique dans un système de coordonnées standard pour éviter des erreurs de conversion lors de transformations de coordonnées.

Dans le cas de systèmes plans (WGS84 UTM ou Lambert), le numéro de fuseau (pour WGS84 UTM) ou la projection de type Lambert correspondant(e) doit être indiqué(e) dans la variable NUMZONE de le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D :

- entre 30 et 32 par exemple pour la France dans le système WGS84 plan UTM Nord ;
- Lambert 1 Nord, 2 Centre, 2 étendu, 3 Sud, 4 Corse dans le système NTF plan Lambert. La projection Lambert 93 n'a pas encore été programmée au moment de la rédaction de cette note.

Si, lors du déroulement du calcul TELEMAC-2D, la mention « ERROR WHEN INTERPOLATION, K= » apparaît, c'est qu'un ou plusieurs nœuds de frontière maritime se trouve(nt) en dehors de l'emprise du modèle de la base de données. Il peut s'agir parfois d'une erreur de conversion de coordonnées ou souvent d'un léger décalage du fait que le trait de côte du modèle ayant servi à construire la base est assez grossier (décalage éventuel entre le trait de côte grossier du modèle dit de Jean-Marc Janin [1] et le modèle local). Dans ce cas, il est recommandé de déterminer une petite translation à imposer aux coordonnées des nœuds de frontière, ce qui peut être fait avec les paramètres XSHIFT et YSHIFT du sous-programme TIDAL_MODEL_T2D. Le décalage peut être visualisé en décommentant les lignes comportant le nombre 57 (trois au total) dans le sous-programme BORD_TIDAL_BC, ce qui permet de générer un fichier formaté de coordonnées dans le système de coordonnées du modèle de la Manche et du proche Atlantique et que l'on peut visualiser en superposition du fichier de géométrie de ce dernier modèle. Sur la Figure 3 sont représentés en trait continu noir (resp. en pointillés rouges, en pointillés bleus) le trait de côte du modèle dit de Jean-Marc Janin (resp. les nœuds de frontière du modèle local sans changements, les nœuds de frontière du modèle local après translation du vecteur (XSHIFT, YSHIFT)).

Si l'on n'effectue pas de translation malgré le (ou les) message(s) d'avertissement, c'est à partir de l'élément le plus proche que se fait l'interpolation.

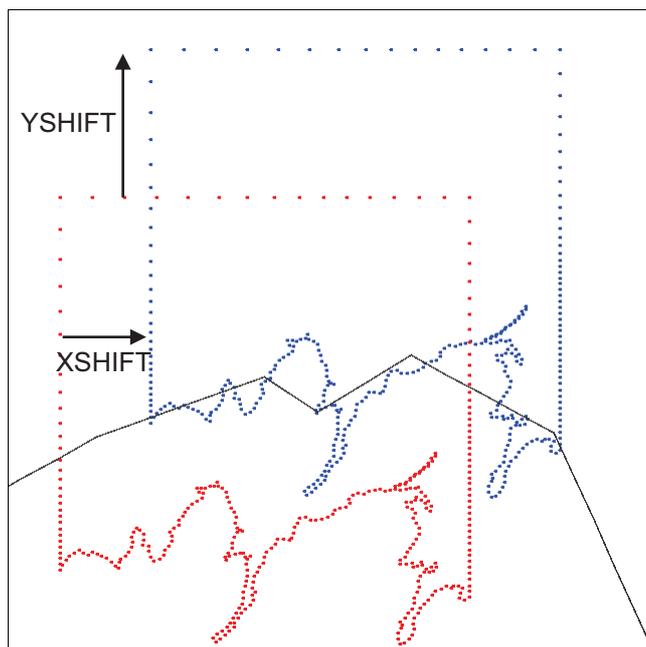


Figure 3 : Application du vecteur de translation (XSHIFT-YSHIFT) sur un exemple.

À la fin, on obtient ainsi un fichier contenant les constantes harmoniques de la hauteur d'eau et des composantes horizontales de vitesse U et V (amplitude et phase, ou projection suivant x et y , suivant le type de marée à simuler) pour chaque type d'onde (M2, S2, N2 ou M4), pour chaque nœud de frontière maritime du domaine (voir une courte description du fichier dans la sous-section 4.4 ou en Annexe 3).

Afin de ne pas multiplier les fichiers de constantes harmoniques et de ne pas se tromper dans l'utilisation de ces fichiers, il est conseillé de ne générer et de n'utiliser que des fichiers de constantes harmoniques au format (amplitude, phase) et non pas au format « projections suivant x et y » (qui était le format utilisé précédemment lors de la simulation de marées « réelles » au LNHE) ; il est donc préférable de choisir le mot-clé **OPTION POUR LES CONDITIONS LIMITES DE MAREE** compris entre 1 et 6.

Remarque : les paramètres GEOSYST et NUMZONE sont des mots-clés du dictionnaire de TELEMAC-2D à partir de la version 6.2 et ne sont alors plus à définir dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D.

6. Simulation de la marée en version 6.1

Une fois que le fichier des constantes harmoniques a été généré, l'utilisateur peut lancer un calcul de simulation de la marée. Le mot-clé **OPTION POUR LES CONDITIONS AUX LIMITES DE MAREE** doit être choisi entre 1 et 7 (cf. sous-section 4.1) :

- 1 : marée « réelle », à partir d'un jour précis du calendrier (méthodologie recommandée) ;
- 2 : marée de vive-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 110) ;
- 3 : marée de vive-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 95) ;
- 4 : marée moyenne (coefficient de marée ≈ 70) ;
- 5 : marée de morte-eau moyenne (coefficient de marée ≈ 45) ;
- 6 : marée de morte-eau exceptionnelle (coefficient de marée ≈ 30) ;
- 7 : marée « réelle » (méthodologie d'avant 2010 au LNHE).

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

Ces simulations peuvent être effectuées en modes séquentiel ou parallèle (mot-clé PROCESSEURS PARALLELES).

Comme dit en sous-section 4.2, afin de pouvoir utiliser le traitement des conditions aux limites de marée de la version 6.1 de TELEMAC-2D, les nœuds de frontière maritime doivent obligatoirement avoir les codes 5 4 4 (hauteur d'eau imposée et composantes de vitesse U et V libres), 4 6 6 (composantes de vitesse U et V imposées et hauteur d'eau libre) ou 5 6 6 (hauteur d'eau et composantes de vitesse U et V imposées simultanément) dans les trois premières colonnes du fichier des conditions aux limites.

Quelques paramètres à initialiser dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D sont à renseigner lors de la génération du fichier des constantes harmoniques aux nœuds de frontière maritime (ils sont surlignés en **jaune** en Annexe 1) :

- CTIDE ;
- MSL ;
- ICALHW (uniquement pour la simulation de marées types, à éventuellement changer) ;
- NODALCORR (uniquement pour la simulation de marées « réelles », à partir d'un jour précis du calendrier).

Le coefficient CTIDE permet d'ajuster l'amplitude du marnage ainsi que l'amplitude de la vitesse des ondes de marée, imposées aux frontières du modèle. La vitesse de l'onde de marée étant, en première approximation, proportionnelle à la racine carrée de sa hauteur, le coefficient de calage pour les vitesses est pris égal à la racine du coefficient CTIDE. Le calage de l'amplitude du marnage peut en particulier être réajusté pour chaque type de marée simulée.

Le coefficient MSL correspond à un niveau moyen de la mer et peut aussi être fixé par l'utilisateur de manière à caler au mieux les niveaux de la mer (par exemple par rapport à un ou des port(s) de référence). Ce coefficient est généralement pris égal au niveau moyen de la mer dans un port de référence à proximité du site d'étude.

Le paramètre spécifique ICALHW, qui donne l'indice de nœud de frontière maritime par rapport auquel toutes les ondes sont déphasées pour tous les nœuds de frontière maritime, est décrit dans la sous-sous-section 3.3.1 (uniquement pour des simulations de marées types).

Le mot-clé DATE DE L'ORIGINE DES TEMPS est à renseigner pour la simulation d'une marée « réelle », à partir du jour précis du calendrier.

Le paramètre NODALCORR est un entier qui indique comment sont calculés les facteurs nodaux $f_i(t)$ pour la simulation de marées « réelles ». En fonction du choix fait par l'utilisateur pour ce paramètre NODALCORR, les facteurs nodaux $f_i(t)$ sont calculés à l'instant de l'origine des temps de la simulation (choix 1 par défaut) ou au milieu de l'année de l'origine des temps de la simulation (choix 2, cf. sous-section 2.2.2). En version 6.1, les facteurs nodaux $f_i(t)$ sont gardés constants pendant toute la simulation ; il n'est pas possible de recalculer ces facteurs nodaux à chaque pas de temps (choix 0) dans la version 6.1. Néanmoins, sur une courte durée de simulation, ces facteurs ne varient pas trop (la différence relative des corrections reste au pire inférieure à 2,5 % sur une année complète, donc est bien moindre sur une période plus courte comme quelques jours).

Remarque :

Afin de caler les modèles numériques TELEMAC-2D dans des zones où la marée a une influence, des données de calage peuvent être utiles :

- des données de marnage, de niveau moyen de la mer ou de niveaux de la mer à des instants précis de la marée (par exemple à partir de données de marégraphes, de cartes marines ou de bases de données du SHOM disponibles sur leur site internet [8]) par exemple dans un port de référence à proximité du site d'étude ;
- des vitesses de courant de marée en plusieurs points de la zone d'étude (par exemple à partir de

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

mesures réalisées avec des ADCP, des annuaires de courant de marée du SHOM [8] ou des indications sur les cartouches de certaines cartes marines éditées par le SHOM).

Remarque : les paramètres CTIDE et MSL sont des mots-clés du dictionnaire de TELEMAC-2D à partir de la version 6.2 et ne sont alors plus à définir dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T2D. Il en est de même du paramètre CTIDEV pour le calage des vitesses nouvellement introduit à partir de la version 6.2.

7. Quelques erreurs à ne pas commettre

Pour la génération du fichier des constantes harmoniques de marée :

- les nœuds de la frontière sur lesquels on souhaite imposer des conditions de marée doivent avoir le code 5 4 4 – *i. e.* hauteur d'eau imposée et vitesses libres –, 4 6 6 – *i. e.* hauteur d'eau libre et vitesses imposées – ou 5 6 6 – *i. e.* hauteur d'eau et vitesses imposées –, si l'on souhaite utiliser le traitement quasi automatique de la marée dans TELEMAC-2D ;
- si le système géographique choisi est de type WGS84 UTM (Nord ou Sud) ou Lambert, il faut préciser le numéro du fuseau ou la projection en adéquation ;
- les trois mots-clés indiquant les noms des fichiers correspondant au fichier de géométrie, à la base de l'atlas de constantes harmoniques de marée – ces deux fichiers étant des données d'entrée – et au fichier de constantes harmoniques de marée doivent impérativement être respectés ;

Pour les simulations de marées :

- bien vérifier que la dernière colonne du fichier des conditions aux limites (numéro de nœud frontière) correspond au numéro de la ligne dans le fichier. Ceci est indispensable pour le bon fonctionnement d'un calcul en parallèle ;
- le nom du fichier des constantes harmoniques de marée doit être indiqué par mot-clé (FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES) dans le fichier des paramètres ;
- il est nécessaire de vérifier que ce fichier des constantes harmoniques a bien été généré par la procédure automatique de marée (en particulier que les premières lignes comprennent le nombre des frontières où l'on impose des conditions de marées, ainsi que les indices des bornes de ces frontières) ;
- si le modèle a subi une transformation locale (par exemple, une rotation), bien appliquer cette transformation aux composantes de vitesses ;
- il est important de garder des formats homogènes entre l'étape de génération du fichier de constantes harmoniques de marée et l'étape de calcul qui utilise ce fichier. En particulier, il faut s'assurer que pour une marée de type $i - i$ compris entre 1 et 6 – les constantes harmoniques sont dans le format amplitude-phase (et pas projection selon x et y), et que pour une marée « réelle » de type 7, les constantes harmoniques sont dans le format de projection selon x et y (et pas amplitude-phase). Pour éviter de manipuler deux fichiers de constantes harmoniques réécrits différemment et de commettre d'éventuelles erreurs, si l'on souhaite simuler une marée « réelle », il est donc recommandé de choisir le type 1.

8. Conclusion et perspectives

L'intégration de développements similaires pour le traitement de la marée dans TELEMAC-3D est prévue en version 6.2 (avec les mêmes mots-clés et le même principe). De légères différences apparaîtront dans le sous-programme TIDAL_MODEL_T3D (par exemple, pour le traitement de la 3^e direction, l'utilisation de variables au nom différent dans les déclarations de TELEMAC-2D et TELEMAC-3D – MESH/MESH2D LIUBOR/LIUBOL, NPOIN/NPOIN2, NPTFR/NPTFR2, T2DFILES/T3DFILES, NVITES/NVIT...).

Pour la version 6.2, la prise en compte de l'heure de l'origine des temps, le calcul du facteur nodal f à

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

chaque pas de temps (NODALCORR = 0) et l'interpolateur à optimiser, en parallèle notamment, sont à regarder. Une réflexion doit porter sur la possibilité de générer le fichier de constantes harmoniques en mode parallèle (développement dans le programme partiel ?).

Certaines études numériques ont montré la nécessité de prendre en compte plus d'ondes de marée que le modèle dit de Jean-Marc-Janin [1]. D'autres modèles de constantes harmoniques de marée sont actuellement regardés au LNHE, à HR Wallingford ou Artelia-Sogreah, qui proposent le traitement de plus d'ondes ainsi qu'une emprise plus importante :

- atlas du LEGOS NEA pour Nord-Est Atlantique à 47 ondes qui couvre l'Atlantique de la Mauritanie à la Norvège ;
- les solutions de l'Université de l'Oregon (OSU pour Oregon State University) qui comptent le modèle global TPXO et des modèles régionaux ou locaux de l'Atlantique (*Atlantic Ocean*) ou du Nord-Est Atlantique (*European Shelf*) à 11 ou 13 ondes qui couvrent l'Atlantique pour tout ou partie, sur grille régulière ;
- modèle mondial FES2004 à environ 14 ondes ou FES2012 voire FES2013, mais juste pour les cotes.

Certains développements seront intégrés en version 6.2, notamment le traitement de l'atlas NEA du LEGOS et de la solution globale TPXO ainsi que des solutions régionales ou locales de marée provenant de l'Université de l'Oregon (OSU).

9. Références

[1] Janin, J.-M., Blanchard, X. (1992). Simulation des courants de marée en Manche et proche Atlantique – Rapport final. Rapport EDF R&D-LNH HE-42/92.58 (référence Eureka H-E40-1992-02916-FR).

[2] Simon, B. (2007). La marée océanique côtière. Institut océanographique éditeur.

[3] Pugh, D. T. (1987, réédition 1996). Tides, Surges and Mean Sea-Level. John Wiley & Sons.

[4] Schureman P. (1924, réédition 1971). Manual of harmonic analysis and prediction of tides. U.S. Coast and Geodetic Survey.

[5] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Projection cartographique Mercator Transverse. Algorithmes. Note technique NT/G 76. Disponible sur le site internet de l'IGN :

http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algorithmes/notice/NTG_76.pdf

[6] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Projection cartographique conique conforme de Lambert. Algorithmes. Note technique NT/G 71. Disponible sur le site internet de l'IGN :

http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algorithmes/notice/NTG_71.pdf

[7] Service de géodésie et nivellement de l'IGN (1995). Changement de système géodésique. Algorithmes. Note technique NT/G 80. Disponible sur le site internet de l'IGN :

http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/documentation/algorithmes/notice/NTG_80.pdf

[8] Site internet du SHOM : <http://www.shom.fr>

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

```

! WARNING, FORMAT: YEAR, MONTH, DAY
!
! GEOSYST: TYPE OF GEOGRAPHIC SYSTEM
! 0: DEFINED BY USER
! 1: WGS84 LONGITUDE/LATITUDE IN REAL DEGREES
! 2: WGS84 NORTHERN UTM
! 3: WGS84 SOUTHERN UTM
! 4: LAMBERT
!
! GEOSYST = 4
!
! NUMZONE: NUMBER OF ZONE WHEN GEOSYST IS A PLANE PROJECTION
! UTM ZONE: E.G. 30 TO 32 FOR FRANCE
! FOR LAMBERT ZONE: 1, 2, 3, 4 OR 22 (LAMBERT 2 ETENDU)
!
! NUMZONE = 1
!
! CTIDE: COEFFICIENT TO CALIBRATE THE TIDAL RANGE, DEFAULT = 1.D0
! CTIDE = 1.01D0
!
! MSL: COEFFICIENT TO CALIBRATE THE SEA LEVEL, DEFAULT = 0.D0
! MSL = 5.58D0
!
! OPTION FOR CALCULATION OF NODAL FACTOR CORRECTION F
! 0: NOT FROZEN, COMPUTED AT EACH TIME STEP
! 1: FROZEN WITH VALUE AT THE BEGINNING OF THE SIMULATION
! 2: FROZEN WITH VALUE AT THE MIDDLE OF THE YEAR OF THE SIMULATION
! (SINGLE POSSIBILITY FOR TIDALTYPE = 7)
!
! NODALCORR = 1
! IF(TIDALTYPE.EQ.7) NODALCORR = 2
!
! ICALHW: NUMBER THAT MAY BE CHOSEN BY THE USER TO CALIBRATE HIGH WATER
! OR AUTOMATICALLY CHOSEN, IN CASE OF THE MODELLING OF A
SCHEMATIC TIDE
! IN SUBROUTINE BORD_TIDE
! DEFAULT = 0 (AUTOMATICALLY CHOSEN)
!
! ICALHW = 0
!
! OPTIONAL SHIFT OF COORDINATES
!
! XSHIFT = +7000.D0
! YSHIFT = +11400.D0
!
! FILES:
!
! T2DBDD: TIDE DATA BASE
! T2DHAR: HARMONIC CONSTANTS FILE
! T2DTID: TIDAL MODEL FILE
!
-----
!
! AUTOMATIC TIDAL BOUNDARY CONDITIONS
!
! IF(TIDALBCGEN) THEN
! CALL BORD_TIDAL_BC(MESH%NBOR%I,LIHBOR%I,LIUBOR%I,
& NPTFR,KENT,KENTU,

```

Mots-clés à partir de la version 6.2

EDF R&D	Méthodologie pour la simulation de la marée en Manche et proche Atlantique avec la version 6.1 de Telemac-2D	H-P74-2011-02581-FR Version 1.0
---------	--	------------------------------------

```

&          MESH, GEOSYST, NUMZONE, TIDALTYPE,
&          BOUNDARY_COLOUR, MAXFRO,
&          T2D_FILES (T2DBDD) %LU,
&          T2D_FILES (T2DTID) %LU,
&          T2D_FILES (T2DHAR) %LU, XSHIFT, YSHIFT)
ENDIF
!
CALL BORD_TIDE (ZF%R, MESH%NBOR%I, LIHBOR%I, LIUBOR%I,
&          NPOIN, NPTFR, AT, NCOTE, NVITES,
&          NUMLIQ%I, KENT, KENTU,
&          T2D_FILES (T2DIMP) %NAME, TIDALTYPE,
&          CTIDE, MSL, NODALCORR, T2D_FILES (T2DHAR) %LU,
&          BOUNDARY_COLOUR,
&          HBTIDE, UBTIDE, VBTIDE, NUMTIDE, ICALHW, MARDAT, MARTIM)
!
!-----
!
DO K=1, NPTFR
  IF (NUMTIDE%I (K) .GT. 0) THEN
!     POSSIBLE SMOOTHING AT THE BEGINNING
!     IF (AT.LT.1800.D0) THEN
!       UBTIDE%R (K) = UBTIDE%R (K) * (AT/1800.D0)
!       VBTIDE%R (K) = VBTIDE%R (K) * (AT/1800.D0)
!     ENDIF
!     IF (LIUBOR%I (K) .EQ. KENTU) THEN
!       UBOR%R (K) = UBTIDE%R (K) *COS (ALF) + VBTIDE%R (K) *SIN (ALF)
!       VBOR%R (K) = -VBTIDE%R (K) *SIN (ALF) + VBTIDE%R (K) *COS (ALF)
!       UBOR%R (K) = UBTIDE%R (K)
!       VBOR%R (K) = VBTIDE%R (K)
!       U%R (MESH%NBOR%I (K) ) = UBOR%R (K)
!       V%R (MESH%NBOR%I (K) ) = VBOR%R (K)
!     ENDIF
!     IF (LIHBOR%I (K) .EQ. KENT) THEN
!       HBOR%R (K) = HBTIDE%R (K)
!       H%R (MESH%NBOR%I (K) ) = HBOR%R (K)
!     ENDIF
!   ENDIF
! ENDIF
! ENDDO
!
!-----
!
RETURN
END

```

Multiplication de la vitesse de la marée par une éventuelle fonction rampe

Projection éventuelle de la vitesse sur les axes du repère local

ANNEXE 2 : EXEMPLE DE FICHER DES CONDITIONS AUX LIMITES

Attention : il est nécessaire de bien respecter les codes à imposer :

- 5 6 6 pour hauteur d'eau et composantes de vitesse imposées,
- 4 6 6 pour des composantes de vitesse imposées,
- 4 5 5 pour un débit imposé,
- 5 4 4 pour une hauteur d'eau imposée,
- 2 2 2 pour une paroi solide.

En particulier, au niveau des frontières liquides sur lesquelles la vitesse de la marée est imposée, on veillera à bien mettre le code 4 6 6 ou 5 6 6 (voir ci-dessous, surligné en jaune).

```

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 1 1
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 106 2
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 118 3
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 368 4
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 94 5

...

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 284 245
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 190 246
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 45 247
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 7 248
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 58 249
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 354 255
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 216 256
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 292 257
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 227 258
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 121 259
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 157 260

...

5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 379 335
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 44 336
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 325 337
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 250 338
5 6 6 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 5 0.000000 0.000000 0.000000 210 339
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 313 340
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 287 341
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 269 342
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 79 343
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 48 344
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 1979 345

...

2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 377 400
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 299 401
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 882 402
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 863 403
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 870 404
2 2 2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 2 0.000000 0.000000 0.000000 273 405

```

Frontière
sur
laquelle
on
impose
la marée

ANNEXE 3 : EXEMPLE DE FICHER DES CONSTANTES HARMONIQUES DE MARÉE

1	← Nombre de frontières continues sur lesquelles on impose la marée				
250	339	← Bornes des frontières sur lesquelles on impose la marée (ici, une seule ligne car une seule frontière)			
250	-0.88				
	3.245	159.2	0.605	85.0	0.852 266.4
	1.277	207.3	0.236	132.1	0.337 314.9
	0.619	141.7	0.109	67.8	0.157 249.8
	0.068	263.1	0.045	209.8	0.061 27.4
251	-3.26				← Numéro local du nœud de frontière + cote du fond interpolée
	3.241	159.1	0.656	85.3	0.852 267.6 $A_{HM2}, \varphi_{HM2}, A_{UM2}, \varphi_{UM2}, A_{VM2}, \varphi_{VM2}$
	1.275	207.2	0.256	132.2	0.339 315.9 $A_{HS2}, \varphi_{HS2}, A_{US2}, \varphi_{US2}, A_{VS2}, \varphi_{VS2}$
	0.618	141.6	0.119	68.0	0.157 251.0 $A_{HN2}, \varphi_{HN2}, A_{UN2}, \varphi_{UN2}, A_{VN2}, \varphi_{VN2}$
	0.067	262.5	0.049	210.8	0.060 27.5 $A_{HM4}, \varphi_{HM4}, A_{UM4}, \varphi_{UM4}, A_{VM4}, \varphi_{VM4}$
252	-5.80				
	3.237	159.1	0.693	85.7	0.849 268.4
	1.273	207.1	0.271	132.3	0.338 316.7
	0.618	141.6	0.125	68.3	0.157 251.7
	0.067	262.2	0.052	211.6	0.059 27.4
...					
304	-56.17				
	2.937	155.9	1.044	112.3	0.177 216.4
	1.155	203.0	0.431	155.6	0.062 263.1
	0.565	137.8	0.201	93.0	0.031 193.6
	0.038	233.3	0.047	212.3	0.009 12.0
305	-57.33				
	2.926	155.5	1.030	112.2	0.171 208.8
	1.150	202.6	0.425	155.4	0.059 254.0
	0.564	137.4	0.198	92.8	0.030 185.1
	0.038	230.3	0.046	212.6	0.007 9.3
306	-59.08				
	2.915	155.1	1.000	112.3	0.175 202.4
	1.146	202.1	0.412	155.4	0.061 245.9
	0.562	137.0	0.192	93.0	0.031 178.6
	0.038	227.1	0.045	214.3	0.006 2.7
...					
337	-3.78				
	2.977	149.7	0.571	87.3	0.213 97.0
	1.164	196.2	0.218	127.6	0.082 136.2
	0.573	131.5	0.102	67.4	0.038 76.8
	0.049	209.8	0.034	221.6	0.012 221.4
338	-1.98				
	2.977	149.6	0.557	86.1	0.208 94.2
	1.165	196.2	0.212	126.4	0.079 133.3
	0.574	131.5	0.099	66.2	0.037 74.0
	0.049	209.7	0.033	222.5	0.012 222.4
339	-0.18				
	2.977	149.6	0.545	84.9	0.204 91.2
	1.165	196.1	0.206	125.1	0.078 130.3
	0.574	131.4	0.096	65.0	0.036 70.9
	0.049	209.6	0.033	223.5	0.012 223.5

51^e nœud (= 305-250+1) de la frontière sur laquelle on impose la marée : nœud de référence choisi pour le déphasage des ondes, pour la simulation de marées types.